

Aspects épidémiologiques de la rouille de l'arachide au Burkina Faso

C. ZAMBETTAKIS (1), C. PICASSO (2), J. P. BOSC (3)

Résumé. — *Puccinia arachidis* (Speg), agent responsable de la rouille de l'arachide, ne peut vraisemblablement se conserver sur place, en Afrique soudano-guinéenne, en dehors des périodes de culture, par suite d'une durée de vie de ses spores très courte et du fait qu'on ne lui connaît pas d'hôte intermédiaire. La transmission et la propagation de la maladie pouvant être dans ces conditions de nature éolienne, comme pour d'autres rouilles, des mesures de potentiel mycosporifère de l'air ont été effectuées au sud du Burkina Faso, pendant les périodes culturales 1983, 1984 et 1985. Les résultats obtenus confirment cette hypothèse et montrent la présence effective de spores dans l'air en l'absence de maladie sur les cultures de la région avoisinante. Cela correspond à la première phase de contamination par des spores allochtones. Une fois que la maladie est installée, il y a production et libération de spores selon un rythme journalier et des cycles plus ou moins courts et nombreux au cours de l'année et selon les années. C'est la dernière phase caractérisée par des pics de captage. Il apparaît également que le captage de spores allochtones, comme la libération de spores sur place, est sous l'influence de certains facteurs climatiques. Les plus importants se sont révélés être les vents orientés Sud-Ouest pour la contamination et l'humidité relative pour la durée des générations de spores sur place. Ces premiers résultats sont intéressants et devraient permettre, les études étant poursuivies, la mise en place d'un système de prévention et d'avertissement des épidémies ainsi que l'optimisation des techniques de lutte.

INTRODUCTION

La rouille de l'arachide due à *Puccinia arachidis* (Speg) a pris une extension mondiale à partir des années 70. Son incidence sur les rendements peut être très forte, allant jusqu'à 75 p. 100 (Texas en 1971) ; elle est couramment de 30 à 40 p. 100 dans la plupart des zones touchées [Subrahmanyam, Mc Donald, 1983].

L'influence des facteurs climatiques et géographiques sur l'épidémiologie de certaines maladies fongiques a fait l'objet de nombreuses études et synthèses [Zambettakis, 1966, 1971, 1974]. Ces voies de recherche appliquées à la rouille de l'arachide peuvent être intéressantes en particulier dans un but de prévention et d'avertissement des épidémies.

Le stade d'urédospores est le seul connu actuellement pour cette rouille dont les spores ont une vie très courte qui ne permet pas la survie du champignon d'une période culturale à l'autre. Comme on ne connaît pas non plus d'hôte intermédiaire pour ce parasite, il est donc fortement probable que la transmission de la maladie soit liée à une arrivée d'urédospores par les vents, provenant d'autres régions où la culture est plus précoce ou continue toute l'année. Compte tenu de ces éléments, nous avons mesuré le potentiel mycosporifère de l'air au sud du Burkina Faso où la maladie sévit régulièrement et fortement depuis 1977 [Picasso, 1987], la rouille étant apparue en Afrique de l'Ouest en 1976, au Nigeria. Parallèlement au captage des spores et afin d'essayer de comprendre l'importance et le rôle des divers facteurs climatiques dans le déclenchement et la progression de la maladie, de nombreuses données climatiques ont été recueillies. Enfin, l'évolution de la maladie était également suivie sur les cultures d'arachide en plein champ, à proximité de l'appareil de captage.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Lieu et déroulement des études.

Les mesures ont été effectuées sur la station INERA (4) de Niangoloko, située à proximité de la frontière ivoirienne du Burkina Faso, où elles se poursuivent toujours.

Les résultats présentés ci-après portent sur les années 1983, 1984 et 1985, du 1^{er} août au 8 novembre, soit 100 jours pour chacune. La lecture des lames a été réalisée au Muséum national d'Histoire naturelle de Paris.

Notation de la maladie sur les cultures.

Le collecteur étant installé sur une culture d'arachide (variété sensible de type RMP à cycle de 150 jours), un suivi de la maladie a été réalisé en 1984 et 1985 sur 20 pieds répartis en parcelles, aux alentours de l'appareil, de façon hebdomadaire (1984) ou bi-mensuelle 1985. La méthode de notation utilisée est celle de Savary [1983], simplifiée. La note d'un pied est la moyenne des notes données aux feuilles 3, 5, et la plus basse de la tige principale, en comptant à partir de l'apex, sur une échelle de 0 à 7 selon le pourcentage de la surface foliaire envahie par les pustules. La note mentionnée ici est la moyenne des notes enregistrées pour tous les pieds observés.

En 1983, la maladie n'a pas été notée dans les mêmes conditions et l'on n'a tenu compte, dans les interprétations, que des résultats de 1984 et 1985.

Captage des urédospores.

Les mesures du potentiel mycosporifère de l'air ont été réalisées à l'aide d'un collecteur automatique « Spore Trap » de Hirst, modèle « Casella ». Cet appareil permet en effet la mesure en continu du nombre de spores dans l'air [Zambettakis, 1966].

(1) Laboratoire de cryptogamie, Muséum National d'Histoire Naturelle, 12, rue Buffon, 75005 Paris (France).

(2) IRHO-CIRAD, 11, Square Pétrarque, 75116 Paris (France).

(3) IRHO-CIRAD, détaché à l'INERA, Station de Farako-bâ, B.P. 910, Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).

(4) INERA : Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles du Burkina Faso.

Au moyen d'une pompe d'aspiration d'air (12 V continu), dont le débit se situe aux environs de 0,5 m³ par heure, les spores en suspension sont aspirées à travers un orifice et sont retenues à la surface vaselinée d'une lame de microscope qui se déplace, de 2 mm par heure, devant cet orifice et au moyen d'un système d'horloge mécanique. L'orifice est maintenu en permanence face au vent par une girouette tandis qu'il est protégé de la pluie par une large visière. Un trépied positionne l'orifice à 1,5 m du sol et l'ensemble est installé sur une petite dalle bétonnée pour en assurer l'horizontalité, en évitant toute proximité d'obstacles naturels tels que route, arbres et édifices. Les lames sont changées quotidiennement et à heure fixe. Une substance antibiotique (auréomycine à 1 p. 100) est ajoutée à la vaseline pour limiter au maximum les actions néfastes des bactéries.

L'alimentation électrique de la pompe (1 A) est assurée par une batterie de forte capacité (90 Ah), changée et remise en charge toutes les 24 h afin d'assurer une tension et donc un débit à peu près constant. Les lames sont ensuite lues au microscope pour leur partie exposée de 14 × 48 mm, la difficulté étant de reconnaître les spores de rouille de l'arachide parmi celles des autres rouilles.

Relevés météorologiques.

Les relevés météorologiques proviennent de la station climatique de Niangoloko située à 600 m de la zone de captage et de culture.

RÉSULTATS

1. — Evolution de la maladie au champ.

Sur les cultures avoisinant le capteur, les premières pustules sont apparues le 16/8 en 1984 et le 14/8 en 1985, les semis ayant été réalisés respectivement les 7 et 6 juin. Cependant, la progression du niveau de maladie est beaucoup plus importante en 1985, avec une première phase à très forte ascendance jusqu'au 30/8 puis d'ascendance plus faible jusqu'au 28/9, date à laquelle le maximum est atteint à 4,9. En 1984, la progression est à peu près linéaire jusqu'à ce que le maximum soit atteint le 12/10 avec 3,9, et la pente de cette évolution est semblable à celle de la 2^e phase ascendante de 1985.

L'incidence de la rouille sur les rendements a été évaluée à 15 p. 100 en 1984 et 46 p. 100 en 1985, d'après les résultats d'essais de divers fongicides actifs contre la rouille et/ou les cercosporioses.

2. — Captage des spores dans le temps.

Sur la totalité des 100 jours de mesure annuelle, il a été capté 3 049 spores en 1983, 2 335 en 1984 et 8 163 en 1985. En observant les 3 graphiques de la figure 1, qui représentent les quantités de spores collectées quotidiennement, il apparaît que celles-ci restent faibles pour 1983 et 1984 jusqu'au 6/9, date du premier pic. Ensuite, pour ces 2 années, la courbe va progressant en présentant plusieurs séries de pics plus ou moins espacés. Les 2 graphiques se superposent assez bien. Si les quantités collectées en 1984 sont globalement inférieures à celles de 1983, les pics ou groupements de pics apparaissent aux mêmes dates. On

retrouve également cette série de pics en 1985 mais décalés par rapport aux 2 autres puisque le premier se situe le 17 août. Par rapport aux 2 premières courbes, celle-ci est plus tranchée, faisant ressortir des pics très élevés (jusqu'à plus de 500 spores collectées en 1 jour). Mais entre les pics, la progression des valeurs est moindre, bien que la moyenne soit supérieure à celle des 2 autres années.

Dans ce captage on peut distinguer 2 phases principales. En effet, en début de période, la rouille n'est pas présente sur les cultures avoisinant le collecteur et le captage concerne donc essentiellement des spores allochtones, c'est la première phase où l'on n'observe pas de pic. A partir du moment où la maladie devient importante (note > 1), il y a donc production et libération locales de spores en quantités importantes ; c'est durant cette phase que les pics apparaissent. Pour 1983 et 1984 la première phase s'étend jusqu'au 5/9 alors qu'elle s'arrête au 16/8 en 1985.

Si l'on observe maintenant la distribution des spores captées au cours de la journée (Fig. 2), on retrouve également de façon très nette ces 2 phases. Au cours de la première, la distribution ne suit pas de loi précise. Par contre, au cours de la seconde, pour laquelle les quantités captées sont beaucoup plus importantes, on peut très nettement distinguer une distribution asymétrique dont le maximum est à 12 h, en moyenne sur les 3 ans. Les courbes annuelles ont le même aspect mais sont décalées pour leur maximum : 9 h pour 1983, 11 h pour 1984, 14 h pour 1985. Ainsi, la libération des spores suit un rythme au cours du nyctémère. L'arrivée des spores lointaines, qui sont en fait les agents de contamination des cultures, se fait au contraire à toute heure de la journée.

Les intervalles entre 2 pics ou groupes de pics correspondent sensiblement aux temps de latence du champignon [Savary, 1985 b]. Ainsi, on peut distinguer 3 générations sur place en 1983 et 1984, 6 en 1985. En effet (Tabl. I), la première apparaît le 17/8 en 1985 et seulement le 6/9 pour les 2 autres années. Ces temps de latence varient de 10 à 23 jours et sont généralement plus courts dans le cas de 1985. Les conditions ont donc été propices plus tôt au champignon pour assurer la contamination ; une fois celle-ci réalisée, elles ont été également plus favorables à son développement. Les données climatologiques permettent-elles, pour ces 2 phases essentielles de préciser quels sont les facteurs déterminants ?

3. — Effets de quelques facteurs climatiques.

a) Sur la phase de contamination.

Cette phase a duré 36 jours en 1983 et 1984, 16 jours en 1985, soit 88 jours au total pour les 3 années.

Relation entre direction du vent et captage.

Les relevés météorologiques sont effectués à 8 h, 12 h et 17 h. Nous avons cumulé les spores collectées, en 3 tranches horaires par jour : 6-10 h, 11-15 h, 16-5 h, en admettant que le vent de 17 h est stable durant la nuit. D'ailleurs les captages nocturnes ont surtout lieu de 20 à 22 h.

Sur l'ensemble des tranches horaires ainsi déterminées, soit 88 jours × 3 = 264, il y a eu captage de spores dans 83 d'entre elles et on a pu alors constater une prédominance importante des vents orientés SO (Tabl. II). Ainsi, pour ces 83 occurrences de captage pendant les phases de contamination des 3 années, le vent était 35 fois orienté SO (21 fois avec force 1 de l'échelle de Beaufort et 14 avec force 2).

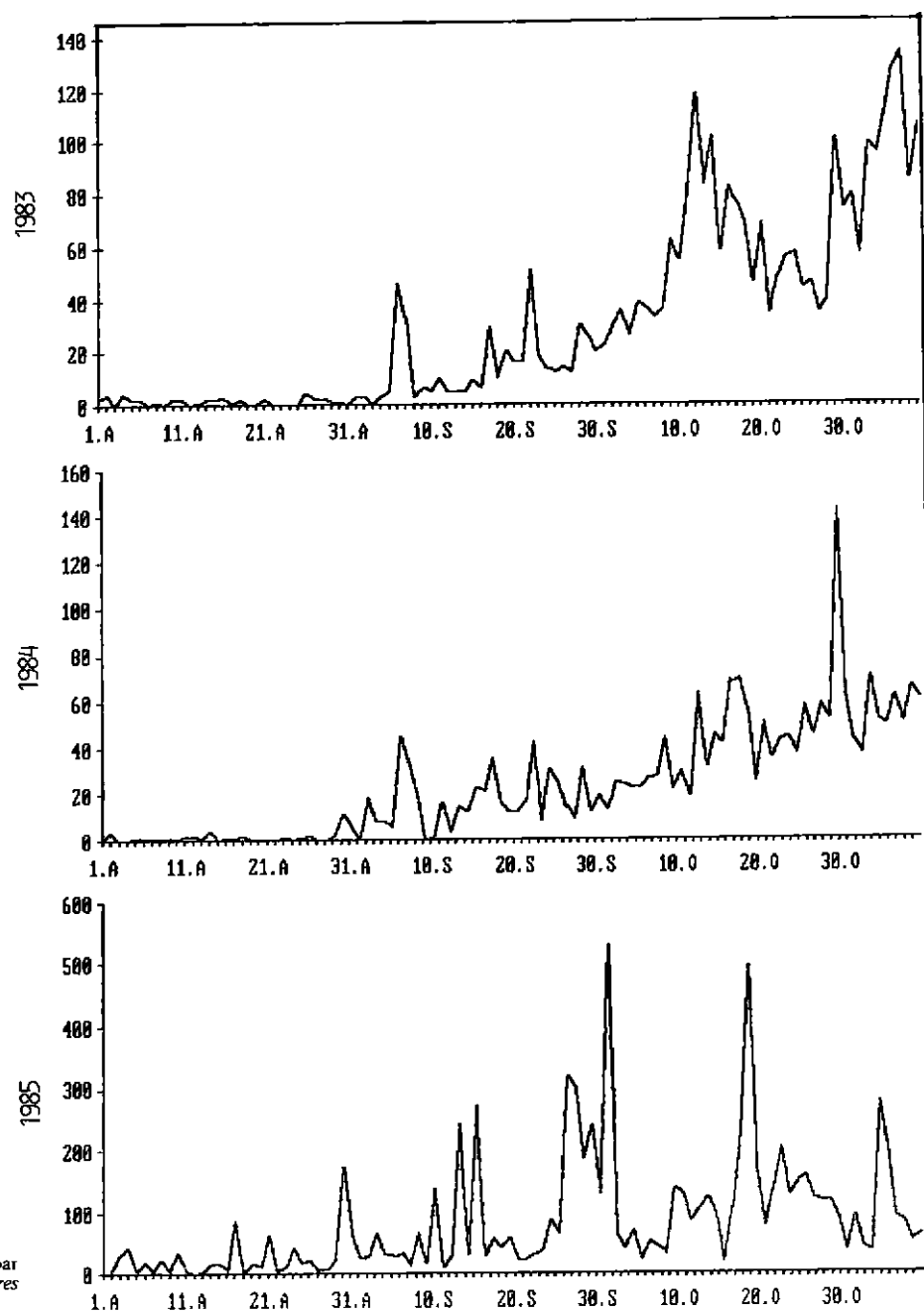


FIG. 1. — Quantité de spores captées par jour pour les 3 années (*Quantity of spores trapped per day for the 3 years*).

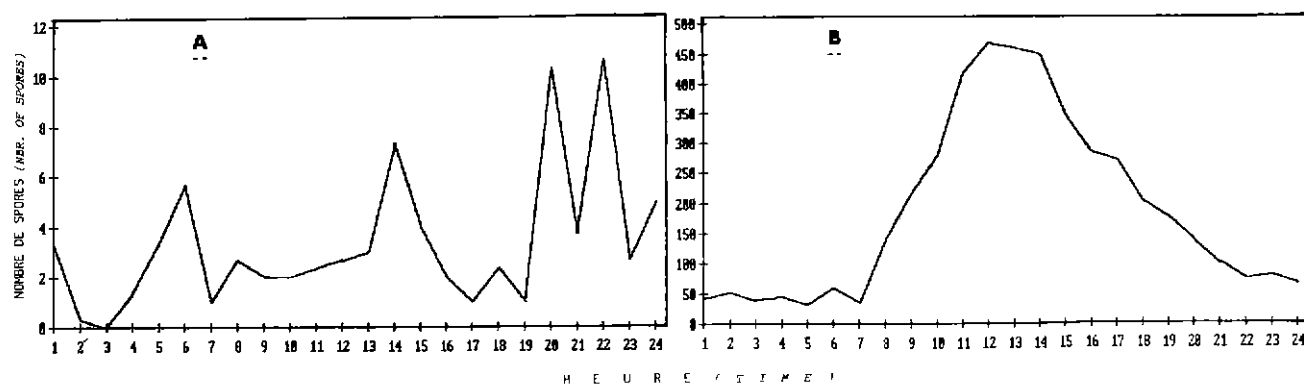


FIG. 2. — Quantité de spores captées par heure de la journée (*Quantity of spores trapped per time of day*).
(A) : Moyenne des 3 ans : 1^{re} phase - 16 jours (*Mean over 3 years : 1st phase - 16 days*).
(B) : Moyenne des 3 ans : 2^e phase - 84 jours (*Mean over 3 years : 2nd phase - 84 days*).

TABLEAU I. — Date d'apparition des pics ou groupes de pics et temps de latence
(Date the peaks or series of peaks appear and latency periods)

1983		1984		1985	
Dates	Latence (Latency) (jours - days)	Dates	Latence (Latency) (jours - days)	Dates	Latence (Latency) (jours - days)
6/9		7/9		17/8	
17-> 22/9	13	15-> 22/9	12	30-> 31/8	13
9-> 20/10	23	8-> 18/10	23	10-> 15/9	14
29/10-> 8/11	22	29/10-> 8/11	22	26/9-> 1/10	15
				9-> 18/10	15
				21-> 28/10	11
				3-> 4/11	10

TABLEAU II. — Direction du vent lors de captage effectif pendant les 1^{res} phases des 3 années
(Number of trappings according to wind direction during the 1st phase for the 3 years)

N : 0	O : 12	S : 4	E : 7
NO : 12	SO : 35	SE : 9	NE : 4

TABLEAU III. — Fréquences en p. 100 pendant les 16 premiers jours d'août des 3 années
(Frequency in p. 100 during the first 16 days of August for the 3 years)

Année (Year)	Vent de SO (SW wind)	Captage effectif (Number of trappings)
1983	44	42
1984	33	31
1985	44	48
Coefficient de (of) corrélation	Vent SO et captage (SW wind and trapping)	0,94

TABLEAU IV. — Humidité relative et captage pendant les 16 premiers jours d'août des 3 années
(Relative humidity and trapping during the first 16 days of August for the 3 years)

Année (Year)	HR moyenne (Mean RH) (%)	Spores captées (trapped)
1983	78,94	28
1984	77,83	19
1985	83,18	192
Coefficient de (of) corrélation	HR moyenne et captage (Mean RH and trapping)	0,99

Si l'on compare, sur les mêmes données, la fréquence des vents de SO avec la fréquence de captage pour la période du 1^{er} au 16 août pour chacune des 3 années (Tabl. III), on observe en 1984 un plus faible pourcentage de captage à relier à un plus faible pourcentage de vents de SO.

Ceci ne tient pas compte du nombre de spores collectées dans chaque tranche horaire, l'aspect quantitatif dépendant vraisemblablement des conditions régnant sur le foyer d'infestation extérieur et des conditions lors du transport et de la chute des spores.

Relation entre pluviométrie et captage.

Au cours des premières phases des 3 années, nous n'avons pu mettre en évidence de relation entre la quantité de spores collectées et la pluviométrie, que ce soit la pluie du jour ou celle de la veille. Même en 1985 où les quantités de spores collectées sont importantes dès le début, il n'apparaît aucune liaison directe avec la pluie.

Si l'on fait le rapport du nombre de spores captées par jour sur le nombre d'occurrences des pluies, classées selon leur hauteur, il n'apparaît pas non plus de loi bien définie.

Au moment même des précipitations, il y a peut-être perturbation dans le captage par l'appareil mais on ne peut en juger, ne disposant que de relevés pluviométriques journaliers.

Globalement ce facteur ne doit intervenir que pour une faible part. Ainsi, en 1983 il est tombé 112 mm pour 28 spores captées, en 1984 il est tombé 75,2 mm pour 19 spores captées et en 1985, 133,9 mm pour 192 spores.

Relation entre humidité et captage.

Comme pour la pluie, le calcul des corrélations entre captage journalier et humidité relative moyenne ne fait pas apparaître de liaison entre les deux. Par contre, si l'on raisonne en terme d'occurrences, le rapport du nombre de spores captées sur le nombre de fois où une valeur d'humidité relative est atteinte fait ressortir une tendance de gradient positif du captage avec les plus fortes valeurs d'humidité (Fig. 3, établie à partir de 88 données). Par ailleurs, si l'on compare les 3 années pour la période du 1^{er} au 16 août, il semble exister effectivement une corrélation nette entre humidité et captage (Tabl. IV).

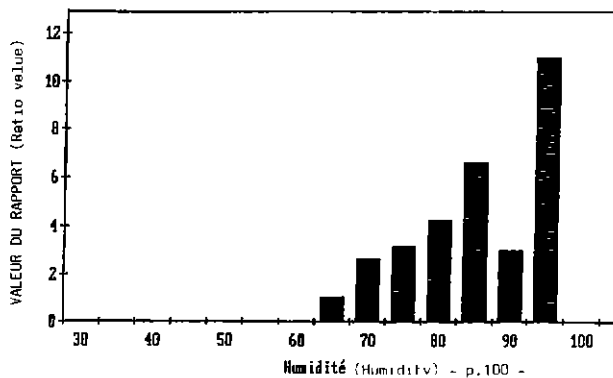


FIG. 3. — Spores captées/occurrences de classe d'humidité - 1^{re} phase (Spores trapped/humidity category - 1st phase).

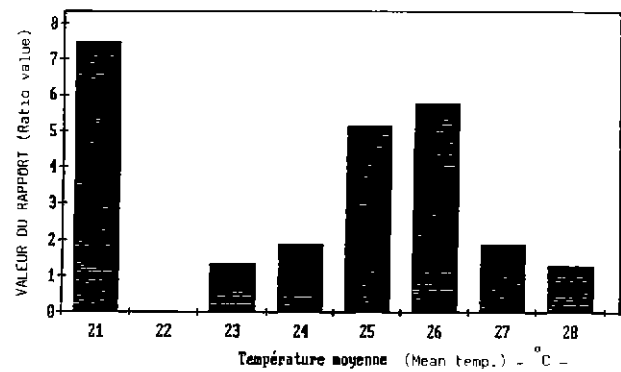


FIG. 4. — Spores captées/occurrences de classe de température moyenne journalière - 1^{re} phase (Spores trapped/mean daily temperature category - 1st phase)

Relation entre température et captage.

Sur la base des 88 jours correspondant aux premières phases des 3 années, la répartition du captage journalier selon la température moyenne quotidienne montre un pic à 26 °C. Si l'on représente le rapport du nombre de spores captées sur le nombre d'occurrences où cette température a été enregistrée, afin de différencier la distribution du captage de celle de la température, on retrouve une distribution en cloche assez resserrée et centrée sur 25-26 °C (Fig. 4). Il y a cependant une aberration pour la valeur de 21 °C mais cela ne correspond en fait qu'à 2 enregistrements sur les 88. La comparaison des températures moyennes des 3 années (Tabl. V) ne fait pas apparaître d'écarts importants mais les variations journalières sont en fait différentes et la répartition des occurrences en classes de température montre bien une fréquence plus importante en 1985 pour la classe 25-26, 9 °C, supérieure à celle de 1983 et nettement plus faible en 1984.

b) Sur la phase de développement.

Dans cette seconde phase on peut distinguer les pics et les périodes entre les pics, sensiblement équivalentes aux périodes de latence.

Relations entre facteurs climatiques et captage pendant les pics.

Nous n'avons pu mettre en évidence de relation entre la direction du vent durant les pics et les quantités correspondantes de spores libérées, ce qui semble logique, ni même avec la force des vents.

TABLEAU VI. — Fréquence des pluies et captage pendant les pics
(Frequency of rainfall and trapping during peaks)

Année (Year)	Fréquence en jours de pluie (Number of days' rain (%))	Spores captées (trapped)
1983	8,3	1 869
1984	9,5	1 112
1985	31	4 525
Coefficient de (of) corrélation		Fréquence pluies et captage (Frequency rainfall and trapping) 0,97

Par contre, la corrélation entre les fréquences de jours de pluie pendant les pics et les spores libérées pendant ces pics est élevée (Tabl. VI).

Pour l'humidité, l'étude des écarts entre les valeurs enregistrées à 8 h et celles à 12 h pour les deuxièmes phases des 3 années fait ressortir un gradient positif entre les quantités de spores captées par occurrence de classe d'écart et la valeur de cet écart (Fig. 5). Ainsi la libération des spores est favorisée par des différences importantes d'humidité entre le matin et le milieu de la journée, période de libération maximale pendant laquelle l'humidité est la plus faible. Il y a cependant une exception pour la valeur 0 mais qui correspond seulement à 3 enregistrements sur 211.

Comme pour l'humidité, mais les phénomènes sont vraisemblablement liés, on observe le même type de gradient avec les écarts de température entre les valeurs maximales et minimales (Fig. 6).

TABLEAU V. — Températures moyennes et captage pendant les 16 premiers jours d'août des 3 années
(Mean temperature and trapping during the first 16 days of August for the 3 years)

Année (Year)	Fréquence par classe de température (Trapping frequency per temp. category) (%)			Moyenne période (Mean temp.)	Spores captées (trapped)
	23-24,9°	25-26,9°	27-28,9°		
1983	19	68	13	25,5	28
1984	19	56	25	26,1	19
1985	19	81	0	25,4	192
Coefficient de (of) corrélation		Fréquence 25-26,9° et captage (25-26,9 °C frequency and trapping)		0,90	

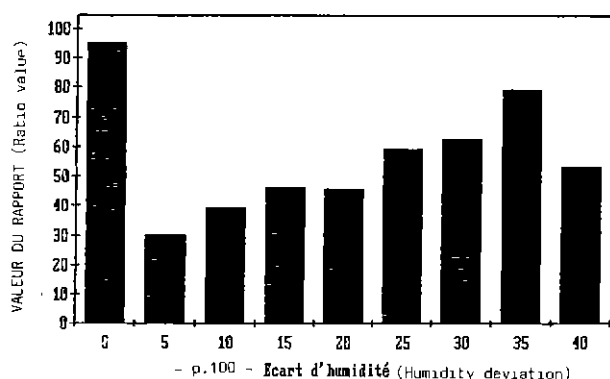


FIG. 5. — Spores captées/occurrences de classe d'écarts d'humidité entre 8 h et 12 h - 2^e phase (Spores trapped/humidity deviation category - between 8:00 am - noon, 2nd phase)

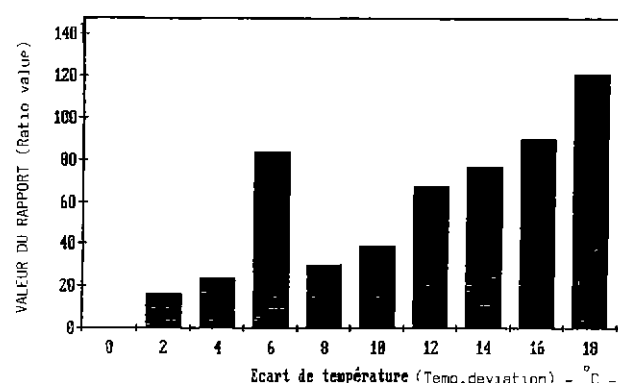


FIG. 6. — Spores captées/occurrences de classe d'écarts de température (maxi-mini) - 2^e phase (Spores trapped/temperature deviation category - maxi-mini, 2nd phase).

Relations entre facteurs climatiques et durée des périodes entre les pics.

Après avoir déterminé les valeurs moyennes de la plupart des paramètres climatiques pendant les différentes périodes de latence, telles qu'elles sont définies dans le tableau I, nous avons calculé pour chacun leur corrélation simple avec la durée correspondante (en jours) de ces périodes. Les coefficients obtenus et présentés dans le tableau VII sont élevés et significatifs pour les humidités à 8 h, à 12 h, les écarts entre les deux et la moyenne. La durée des temps de latence semble par contre ne pas avoir de relation avec la pluie ni la température. Pour ces derniers calculs nous n'avons pas tenu compte des deux dernières périodes de 1985 car il y a vraisemblablement plusieurs générations de spores qui se superposent en fin de cycle. En effet, entre les pics qui sont pourtant bien différenciés, le niveau moyen de libération reste compris entre 150 et 200 spores par jour, c'est-à-dire supérieur à celui des pics des années 1983 et 1984.

DISCUSSION-CONCLUSION

L'examen et l'interprétation des résultats obtenus par captage des spores de rouille, en relation avec le suivi de la maladie au champ, font apparaître 2 phases distinctes dont la durée varie selon les années par rapport au cycle de la plante.

La première phase se caractérise par un apport extérieur de spores véhiculées par le vent. Le foyer de contamination semble se situer au SO de la région. L'arrivée de ces spores a lieu à toute heure de la journée et un petit nombre de spores est suffisant pour déclencher l'épidémie. Pendant cette phase, les humidités relatives élevées et des températures comprises entre 25 et 27 °C paraissent favoriser le captage et la pluie n'interviendrait pas directement à ce niveau. Savary [1985 a] ayant par ailleurs montré qu'elle n'était pas nécessaire non plus pour que la germination des spores ait lieu, pour peu que l'humidité soit suffisante, la pluie ne jouerait donc que peu ou pas de rôle dans la contamination.

TABLEAU VII. — Caractérisation des périodes entre les pics pour les 3 années
(Climatic data during the troughs for the 3 years)

	Durée (jours) (Nb. of days)	HR 8 h (RH 8:00 am)	HR 12 h (RH noon)	HR 8-12 (RH 8-noon)	HR moy. (Mean RH)	Pluie (Rainfall)	T Max	T min	T M-m
1983	13	92,4	69,9	22,5	79,2	93,8	27,7	20,9	6,8
	23	81,8	59,0	22,8	69,2	43,2	30,2	21,5	8,7
	22	75,1	46,2	28,9	57,4	2,5	32,3	21,5	10,8
1984	12	91,0	71,6	19,4	79,0	86,6	30,2	22,3	7,9
	23	87,5	66,1	21,4	76,7	135,1	30,8	21,7	9,1
	22	80,8	55,0	25,8	67,4	10,7	33,3	22,2	11,1
1985	13	90,2	74,2	16,0	80,7	36,0	30,3	21,3	9,0
	14	91,4	71,0	20,4	80,8	61,0	29,6	21,0	8,6
	15	91,1	72,9	18,3	79,4	78,9	30,2	21,1	9,1
	15	89,1	67,8	21,3	78,1	66,4	31,6	21,7	9,9
Corrélations simples entre facteurs climatiques et durée (Simple correlations between climatic data and number of days)									
		-0,82**	-0,79**	0,67*	-0,75*	-0,25	0,58	0,29	0,58

La deuxième phase est caractérisée par une série de pics de libération importante de spores, espacés par des périodes plus ou moins longues pour une même année et selon les années. Pendant cette phase la libération est essentiellement diurne et a lieu généralement en milieu de journée, ce qui corrobore tout à fait les travaux de Mallaiah et Rao [1982]. Si la durée des cycles de génération obéit à des facteurs biologiques caractéristiques du champignon, ceux-ci sont également sous la dépendance de facteurs climatiques.

Pendant cette phase, la fréquence des pluies semble jouer un rôle sur la libération des spores pendant les pics, également facilitée par des écarts importants de température et d'humidité entre le matin et le milieu de la journée. Cette action n'est peut-être que mécanique, les variations provoquant la rétraction des sores et l'éjection des spores.

Il apparaît par ailleurs que la durée des cycles de production des spores est d'autant plus courte que l'humidité moyenne est élevée ; la température et la pluviométrie semblent par contre ne pas intervenir à ce niveau.

Dans cette étude, les facteurs climatiques ont été pris en compte individuellement bien qu'il existe certainement des

interdépendances. Les coefficients de corrélation que nous avons mentionnés ne portent pour la plupart que sur un nombre réduit de données et, de ce fait, ne sont pas tous supérieurs au seuil de signification. Ils expriment néanmoins une tendance pour un phénomène aussi complexe. L'approche globale sous forme d'analyse en composantes principales et de calculs de régression multiple n'a pas apporté, pour les mêmes raisons, de conclusions tranchées sur les relations entre facteurs climatiques et captage pendant la phase de contamination.

D'autre part, plusieurs autres aspects n'ont pu être pris en compte comme la viabilité des spores au moment de leur arrivée, les conditions climatiques en relation avec la germination des spores et la contamination des plantes, la pluviométrie instantanée.

Cependant les tendances qui ont pu être mises en évidence ici peuvent constituer une première approche intéressante pour orienter les études sur la modélisation du développement de la rouille de l'arachide. C'est en effet la finalité de ces expériences qui seront poursuivies pour aboutir à une évaluation des risques et des avertissements agricoles.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] MALLAIAH K. V., RAO A. S. (1982). — Aerial dissemination of uredospores of groundnut rust. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 78 (1), p. 21-28.
- [2] PICASSO C. (1987). — Aflatoxine, rosette et rouille de l'arachide. Environnement climatique propice à leur présence, et développement. *Oléagineux*, 42, N° 1, p. 25-33.
- [3] SAVARY S. (1983). — Etude d'une Epiphytie de l'arachide, en relation avec quelques facteurs biotiques. Elaboration d'un système de notation de la maladie. *Rapport du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé*.
- [4] SAVARY S. (1985 a). — Comparaison des différentes techniques d'infection de folioles d'arachide par *Puccinia arachidis* Speg. *Agronomie*, 5 (4), p. 325-329.
- [5] SAVARY S. (1985 b). — Effets du niveau de contamination et de la température sur quelques étapes du cycle de *Puccinia arachidis* Speg. *Agronomie*, 5 (6), p. 479-485.
- [6] SUBRAHMANYAM P., Mc DONALD D. (1983). — Rust disease of groundnut. *ICRISAT Inf. Bull.*, n° 13.
- [7] ZAMBETTAKIS C. (1966). — La propagation des spores dans l'air. Utilisation d'un capteur-mesures. *Science et Nature*, 75, mai-juin.
- [8] ZAMBETTAKIS C. (1971). — Recherches sur la dispersion nocturne des mycospores de certaines espèces pathogènes. *Revue de Pathologie Comparée de Médecine Expérimentale*, 8-6-817, p. 36-41.
- [9] ZAMBETTAKIS C. (1974). — Influence des facteurs géographiques sur l'épidémiologie de certaines maladies fongiques des plantes. *C. R. Soc. Biogéogr.*, 443, p. 35-48.

SUMMARY

Epidemiological aspects of groundnut rust in Burkina Faso.

C. ZAMBETTAKIS, C. PICASSO and J. P. BOSC, *Oléagineux*, 1988, 43, N° 7, p. 297-306.

Puccinia arachidis (Speg), an agent responsible for groundnut rust, is probably not able to stay alive outside of growing periods in Soudano-Guinean Africa because of its spores' very short lifetime and the fact that no intermediate host is known. As transmission and propagation of the disease under these conditions may be by wind, as is the case of other rusts, measurements of the air's mycosporiferous potential were taken in southern Burkina Faso during the 1983, 1984 and 1985 growing seasons. The results obtained confirm this hypothesis and show the actual presence of spores in the air, despite the absence of the disease on crops in the neighbouring area. This corresponds to the first phase of contamination by extraneous spores. Once the disease is established, spores are produced and released daily and over more or less short and numerous cycles throughout the year and depending on the year. This is the last phase characterized by capturing peaks. It also appears that the capturing of extraneous spores is affected by certain climatic factors, as is the release of spores on site. It was seen that the most influential factors were the South-West winds for contamination and relative humidity for the duration of spore generations on site. These first results are interesting and, if studies are continued, it should be possible to set up an epidemic prevention and warning system and optimize control methods.

RESUMEN

Aspectos epidemiológicos de la roya del maní en Burkina Faso.

C. ZAMBETTAKIS, C. PICASSO y J. P. BOSC, *Oléagineux*, 1988, 43, N° 7, p. 297-306.

Puccinia arachidis (Speg), agente responsable de la roya del maní, probablemente no puede conservarse en el sitio, en la zona del Sudán y de Guinea, fuera de los periodos de cultivo, debido a la vida muy breve de sus esporas, y porque no se le conoce ningún huésped intermediario. Dentro de tales condiciones, la transmisión, y la propagación de la enfermedad puede efectuarse a través del viento, como para otras royas, por lo que se midió el potencial micospórfico del aire al Sur de Burkina Faso, durante los periodos de cultivo en 1983, 1984 y 1985. Los resultados obtenidos confirman esta hipótesis, mostrando la presencia efectiva de esporas en el aire a falta de enfermedades en los cultivos de la región cercana. Eso corresponde a la primera etapa de contaminación por esporas alóctonas. Después de instalada la enfermedad, las esporas se producen y se liberan a un ritmo diario y siguiendo ciclos más o menos breves y numerosos según los periodos del año y según los años. Es la última etapa, que viene caracterizada por incrementos de las esporas recogidas. También resulta que la captura de esporas alóctonas como también la liberación de esporas en el sitio depende de algunos factores climáticos, entre los cuales cabe mencionar los más importantes, que son los vientos orientados hacia el Sudoeste por la contaminación, y la humedad relativa por la duración de generaciones de esporas en el sitio. Estos primeros resultados son interesantes, y como se prosigan los estudios, deberían permitir que se implante un sistema de prevención y advertencia sobre las epidemias, como también de optimización de las técnicas de control.

Epidemiological aspects of groundnut rust in Burkina Faso

C. ZAMBETTAKIS (1), C. PICASSO (2), J. P. BOSC (3)

INTRODUCTION

Groundnut rust due to *Puccinia arachidis* (Speg) has taken on worldwide proportions since the 1970s. Its impact on yields can be very high, up to 75 p. 100 (Texas, 1971) ; at present it varies from 30 to 40 p. 100 in most of the affected zones [Subrahmanyam, McDonald, 1983].

Many studies and reviews have examined the effect of climatic and geographical factors on the epidemiology of certain fungal diseases [Zambettakis, 1966, 1971, 1974]. Applied to groundnut rust, these research methods can be of great utility, particularly for preventing or forecasting epidemics.

The uredospore stage is presently the only stage known for this rust whose spores have a very short lifespan, which prevents the fungus from surviving from one growing period to the next. As no intermediate host is known for this parasite, it is highly probable that the transmission of the disease is linked to the arrival of uredospores in the winds coming from other regions where crops are more precocious or grown continually throughout the year. Given these elements, we measured the air's mycosporiferous potential in southern Burkina Faso where the disease has occurred regularly and severely since 1977 [Picasso, 1987] ; rust was first observed in West Africa in 1976 (Nigeria). At the same time as the spores were being trapped, and in order to attempt to understand the role played by various climatic factors in the outbreak and spread of the disease, numerous climatic data were collected. The development of the disease was also monitored on groundnut crops in the field near the spore capturing apparatus.

MATERIAL AND METHOD

Location and study method.

Measurements were taken at the INERA Station at Niangoloko (4) near the Côte d'Ivoire/Burkina Faso border and are still being taken.

The results given below concern 1983, 1984 and 1985 from 1st August to 8th November, i.e. 100 days per year. The slides were analyzed by the Natural History Museum in Paris.

Recording of the disease on the crops.

The collector was set up in a groundnut crop (sensitive variety of the RMP type with a 150 day cycle) and the disease was monitored in 1984 (weekly) and 1985 (twice-monthly) on 20 plants distributed in plots located around the apparatus. A simplified version of the Savary [1983] grading method was used, the grade given to a plant being the average of the grades given to leaves 3, 5 and the lowest on the main stem counting from the apex, using a scale of 0 to 7 depending on the leaf surface area invaded by the blisters. The grade given in this article is the mean of the grades recorded for all the plants observed.

In 1983, the disease was not graded under the same conditions and, in the interpretations, only the results from 1984 and 1985 were taken into account.

Uredospore capture.

Measurements of the air's mycosporiferous potential were taken using a « Hirst Spore Trap » automatic collector (Casella model). This apparatus enables continuous measurement of the number of spores in the air [Zambettakis, 1966].

This apparatus is equipped with an air suction pump (12 V DC) whose suction capacity is about 0.5 m³/hr ; the spores in suspension are sucked in through an aperture and collected on the vaselined surface of a microscope slide, located just behind the aperture and which moves 2 mm/hr by means of a mechanical clock system. A weathervane keeps the aperture facing the wind at all times while it is protected from the rain by a large visor. The equipment is placed on a tripod raising the aperture 1.5 m from the ground and the entire apparatus is set up on a small concrete platform to ensure that it remains horizontal ; this platform should be built far from any natural obstacles such as roads, trees or buildings. The slides are changed daily at a specific hour. An antibiotic substance (Aureomycin at 1 p. 100) is added to the vaseline to limit harmful bacteria activity as much as possible.

The pump is powered by a high power battery (1A, 90 Ah) which is changed and recharged every 24 hrs to guarantee voltage, hence an almost constant suction power. The exposed part of the slides (14 × 48 mm) is then « read » under the microscope, the difficulty being to distinguish the groundnut rust spores from the spores of other rusts.

Meteorological data.

Meteorological data come from the Niangoloko weather station located 600 m from the trapping and growing zone.

RESULTS

1. — Development of the disease in the field.

On the crops near the trapping apparatus, the first blisters appeared on 16/8 in 1984 and on 14/8 in 1985, while sowing took place on 7/6 and on 6/6 respectively. Nonetheless, the spread of the disease was far more considerable in 1985 with very rapid development up to 30/8 during the first phase, then less rapid development up to 28/9, date at which the maximum of 4.9 was reached. In 1984, disease development was more or less linear up to 12/10 when the maximum of 3.9 was reached ; the curve for this evolution resembles that of the 2nd development phase in 1985.

The impact of rust on yields was evaluated at 15 p. 100 in 1984 and 46 p. 100 in 1985, according to the results from trials testing various active fungicides used to control rust and/or cercospora leafspot.

2. — Spore trapping over time.

Out of a total of 100 days/yr of measurements, 3,049 spores were trapped in 1983, 2,335 in 1984 and 8,163 in 1985. By observing the 3 graphs in figure 1 which represent the number of spores collected daily, it can be seen that this number is low for 1983 and 1984 up until 6/9, date of the first peak. Then, for both years, the curve progresses in a series of peaks spaced more or less apart. The 2 graphs can be quite easily superposed. Though the quantities collected in 1984 are on the whole less than those collected in 1983, the peaks or groups of peaks appear at the same

(1) Cryptogamy Laboratory, Muséum National d'Histoire Naturelle, 12, rue Buffon, 75005 Paris (France).

(2) IRHO-CIRAD, 11, Square Pétrarque, 75116 Paris (France).

(3) IRHO-CIRAD, on detachment at INERA, Farako-bâ Station, B.P. 910 Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).

(4) Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles (Burkina Faso).

dates. A series of peaks can also be seen in 1985, but staggered compared to the 2 others, since the first peak occurs 17th August. Compared to the first 2 curves, the 1985 curve is more jagged with very high peaks (more than 500 spores collected in 1 day). Between peaks however, the evolution of values is less, even though the mean is superior to that of the other 2 years.

With respect to trapping, 2 main phases can be distinguished. In effect, at the beginning of the period, rust is not found on the crops near the collector and trapping therefore essentially concerns extraneous spores; this is the first phase where no peaks are observed. From the moment the disease becomes serious (grade < 1), spores are produced and released locally in considerable quantities; this is the second phase where peaks occur. For 1983 and 1984, the first phase continues up until 5/9 while it stops on 16/8 in 1985.

If the distribution of spores trapped during the day is observed (Fig. 2), it can clearly be seen that these 2 phases also occur. During the first phase, distribution does not follow any precise laws. On the other hand, for the second phase, during which far more spores are trapped, an asymmetrical distribution can be seen very clearly whose maximum is at noon, on average, over the 3 years. Yearly curves have the same character but their maximum occurs at a different time: 9:00 am for 1983, 11:00 for 1984 and 2:00 pm for 1985. Hence the spore release follows a nyctohemeral rhythm. On the other hand, the arrival of spores from far away, which are, in fact, contaminating agents, occurs at any time of the day.

The intervals between 2 peaks or series of peaks roughly correspond to periods of fungus latency [Savary, 1985 b]. Hence, 3 generations can be distinguished on site in 1983 and 1984 and 6 in 1985. In effect (Table I), the first generation appears on 17/8 in 1985 and only on 6/9 in the other 2 years. These periods of latency vary between 10 and 23 days and were generally shorter in 1985. Conditions allowing the fungus to contaminate crops were therefore favourable earlier on and once contamination had taken place, conditions were also more favourable for its development. Do climatic data make it possible, for these 2 essential phases, to identify the determinative factors?

3. — Effects of a few climatic factors.

a) For the contamination phase.

This phase lasted 36 days in 1983 and 1984 and 16 days in 1985, i.e. a total of 88 days for the 3 years.

Relationship between wind direction and spore trapping.

Meteorological data were collected at 8:00 am, noon and 5:00 pm. We cumulated the spores collected into 3 time periods per day: 6:00 am-10:00 am, 11:00 am-3:00 pm and 4:00 pm-5:00 pm, assuming that the wind at 5:00 pm is stable throughout the night. In addition, night capturing mostly took place from 8:00 pm to 10:00 pm.

Out of all the time periods, i.e. $88 \times 3 = 264$, spores were trapped in 83 of them and it was seen that SW winds were largely predominant (Table II). Hence for the 83 trapping periods during the contamination phase over the 3 years, the wind was oriented SW 35 times (21 times at force 1 on the Beaufort scale and 14 at force 2).

If, using these same data, the frequency of SW winds is compared to the trapping frequency from 1st to 16th August for each of the 3 years (Table III), a low trapping percentage is observed in 1984 which is linked to the low percentage of SW winds.

This does not take into account the number of spores collected during each time period, as the quantitative aspect probably depends on the conditions prevalent in the external infestation focus and conditions during spore transport and settling.

Relationship between rainfall and spore trapping.

During the first contamination phases throughout the 3 years, we were unable to detect a relationship between the quantity of spores collected and rainfall, whether it be day rainfall or night rainfall. Even in 1985, when the quantities of spores collected were considerable from the outset, no direct relationship with rainfall could be seen.

If the number of spores trapped per day is compared to the number of rainy periods, classified according to amount, no well defined law can be determined either.

When the rain is actually falling, the efficiency of the trapping apparatus may be disturbed, but this is impossible to assess as only daily rainfall data are available.

Overall, this factor should only play a small role. Hence there were 112 mm of rain for 28 spores trapped in 1983, 75.2 mm for 19 spores trapped in 1984 and 133.9 mm for 192 spores trapped in 1985.

Relationship between humidity and spore trapping.

As for rainfall, calculation of the correlations between daily trapping and mean relative humidity does not reveal any relationship between the two. On the other hand, if trapping occurrence is taken into account, the relationship between the number of spores trapped and the number of times relative humidity reaches a certain value reveals that trapping tends to increase with higher humidity values (Fig. 3, using 88 data). In addition, if the 3 years are compared from 1st to 16th August, there effectively seems to be a correlation between humidity and trapping (Table IV).

Relationship between temperature and spore trapping.

On the basis of 88 days corresponding to the first phases throughout the 3 years, daily trapping distribution according to mean daily temperature shows a peak at 26 °C. If the relationship between the number of spores trapped and the number of times this temperature was recorded is represented so as to differentiate trapping distribution from that of temperature, a rather tight bell-shaped distribution curve can be seen around 25-26 °C (Fig. 4). Nonetheless, there is a deviation from the norm at 21 °C, though this only corresponds, in fact, to 2 recordings out of 88. A comparison of mean temperatures for the 3 years (Table V) does not reveal any considerable deviations, though daily variations are different and the distribution of trapping occurrences according to temperature categories clearly shows a higher frequency for the 25-26 °C category in 1985, a less high frequency in 1983 and a much lower frequency in 1984.

b) During the development phase.

During this second phase, peaks and troughs can be distinguished, the latter roughly corresponding to periods of latency.

Relationship between climatic factors and trapping during the peaks.

We were unable to reveal a relationship between wind direction during the peaks and the corresponding quantities of spores released, which seems logical, nor with respect to wind force.

On the other hand, the correlation between the number of days' rain during the peaks and the number of spores released is high (Table VI).

As regards relative humidity, the study of deviations between the values recorded at 8:00 am and at noon for the second phase throughout the 3 years reveals a positive gradient between the quantities of spores trapped per deviation category occurrence and the value of this variation (Fig. 5). Hence, spore release is encouraged by considerable differences in humidity between the morning and afternoon, the maximum release period during which humidity is lowest. There is an exception for the 0 value, but this only corresponds to 3 recordings out of 211.

As for humidity, though the phenomena are probably connected, the same type of gradient is observed with temperature variations between maximum and minimum values (Fig. 6).

Relationship between climatic factors and duration of troughs.

After determining mean values for most of the climatic parameters during different periods of latency, as defined in Table I, we calculated, for each, their, simple correlation with the corresponding duration, in days, of these periods. The coefficients obtained and given in Table VII are high and significant for relative humidity recorded at 8:00 am and noon, the deviation between them and the mean. On the other hand, the duration of the latency period does not seem to have a relationship with rainfall or temperature. For these latter calculations, we did not take into account the last two periods in 1985 since there were probably several generations of spores which overlapped at the end of the cycle. In effect, between the peaks, which are, indeed, clearly distinguishable, the mean release rate remains between 150 and 200 spores per day, i.e. superior to that of the peaks in 1983 and 1984.

DISCUSSION AND CONCLUSION

Examination and interpretation of results obtained by trapping rust spores, in connection with disease monitoring in the field, reveals 2 distinct phases whose durations vary depending on the year, compared to the plant's cycle.

The first phase is characterized by the arrival of extraneous spores carried by the wind. The contamination focus seems to be located in the Southwest part of the region. The arrival of these spores occurs at any hour throughout the day and a small number is enough to provoke an epidemic. During this phase, high relative humidity and temperatures between 25° and 27 °C seem to favour trapping while rainfall does not intervene directly at this level. Moreover, Savary [1985 a] showed that rainfall is not necessary for spore germination to take place as long as humidity is sufficient ; rainfall therefore has little or no effect on contamination.

The second phase is characterized by a series of peaks during which considerable numbers of spores are released and by more or less long intervals between peaks throughout the year and depending on the year. During this phase, release is essentially diurnal and generally takes place at midday, which corroborates well the work undertaken by Mallaiah and Rao [1982]. While the duration of generation cycles is governed by biological factors characteristic of the fungus, these cycles also depend on climatic factors.

During this same phase, rainfall frequency seems to play a role in the spore release during peaks, though this release is also facilitated by considerable temperature and relative humidity

variations between the morning and midday. This action is perhaps only mechanical, with variation provoking the retraction of sori and ejection of spores.

In addition, it appears that the duration of these spore production cycles is even shorter when relative humidity is high, while temperature and rainfall do not seem to intervene at this level.

In this study, climatic factors were taken into account individually, though there most certainly exists relationships between them. The coefficients of correlation that we mention only concern, for the most part, a limited number of data and therefore are not all superior to the significance threshold. They nonetheless express a tendency towards such a complex phenomenon. The overall approach, which takes the form of major component analysis and multiple regression calculations did not provide, for the same reasons, any decisive conclusions on the relationships between climatic factors and trapping during the contamination phase.

Moreover, several other aspects were not able to be taken into account such as the viability of spores when they arrive, climatic conditions in relation to spore germination and contamination of the plants as well as sudden rainfall.

Nonetheless, the tendencies that were revealed here can constitute an initial interesting approach to orient studies on the modelling of groundnut rust development. In effect, this is the conclusion drawn from these experiments which will be continued so as to provide an evaluation of agricultural risks and warning signs.



LES SEMENCES D'ARACHIDE

GROUNDNUT SEED • LAS SEMILLAS DE MANÍ

NUMÉRO SPÉCIAL D'OLÉAGINEUX — FÉVRIER 1983

Numéro entièrement trilingue . Français, Anglais, Espagnol
disponible aux prix de 104 FF t.t.c. (France) ; 120 FF (Etranger)

